

Е. А. Путилова*, С. М. Задворкин, Э. С. Горкунов

Институт машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург

*tuevaevgenya@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ И ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ РАБОТЕ В АРКТИЧЕСКОМ КЛИМАТЕ

В работе представлены результаты сравнительного исследования структуры, механических и магнитных свойств биметаллических материалов, полученных по технологии сварки взрывом. Основной слой — это корпусная высокопрочная сталь, плакирование выполнялось двумя коррозионностойкими сталями с разной степенью стабильности аустенита. Проведены исследования структуры и фазового состава. Результаты испытания на срез показали, что сварка взрывом позволяет получить прочное неразъемное соединение с высокими значениями прочности соединения слоев. Установлены информативные магнитные параметры, позволяющие оценивать изменения, происходящие в отдельных слоях биметаллических коррозионностойких материалов при пластическом деформировании.

Ключевые слова: коррозионностойкие биметаллические материалы, магнитные свойства, неразрушающий контроль, дифференциальная магнитная проницаемость.

E. A. Putilova, S. M. Zadvorkin, E. S. Gorkunov

INVESTIGATION OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH BIMETALL MATERIALS PRODUCED BY EXPLOSION WELDING AND USED IN SEVERE ARCTIC CONDITIONS

This paper presets the results of the comparative investigation of structure, phase composition, mechanical and magnetic properties of the bimetal materials produced by means of explosion welding. The base metal is represented by high-strength hull steel and the cladding layer — by two corrosion-resistant steel with different stability of austenite. Investigations of structure and phase composition were carried out. According to the results of the shear tests, it has been shown that explosion welding provides a strength joint with high values of the bond strength of the layers. Informative magnetic parameters, allowing evaluating the changes occurring in individual layers of bimetal corrosion-resistant materials during plastic deformation were detected.

Key words: corrosion-resistant bimetal materials, magnetic properties, nondestructive testing, differential magnetic permeability.

Двухслойные материалы, плакированные коррозионностойкими сталями, находят все более широкое применение в качестве материалов для несущих корпусных конструкций, работающих в условиях агрессивных сред. Слоистые материалы в качестве корпусного материала начали применять еще во второй половине XX в. [1] для обеспечения высокой коррозионной и коррозионно-эрозионной стойкости атомных ледоколов. В настоящее время развитие арктических регионов, осуществление масштабных проектов в северных широтах, использование северного морского пути обуславливает необходимость применения более мощных ледоколов, что приводит к большим ледовым нагрузкам и, как следствие, необходимости применения передовых коррозионностойких материалов, обладающих при этом еще и высокими прочностными характеристиками [2–7].

Для обеспечения безопасности при эксплуатации изделий из слоистых материалов, а также для оценки остаточного ресурса деталей и элементов конструкций необходимо диагностировать изменения, происходящие при эксплуатации как в слоистом материале в целом, так и в компонентах, его составляющих. В настоящее время не существует адекватных методов неразрушающего контроля текущего состояния отдельных слоев в биметаллических материалах в условиях действующих напряжений.

В данной работе были исследованы структура, фазовый состав, механические и магнитные свойства конструкционной стали, плакированной коррозионно-стойкими сталями с разной степенью стабильности аустенита, с целью определения возможности использования магнитных методов для диагностики текущего состояния подобных материалов. В итоге были получены два двухслойных материала: «сталь 11ХН4МДФ — сталь 04Х20Н6Г11М2АФБ» и «сталь 11ХН4МДФ — сталь 08Х18 Н10». Образцы после сварки взрывом подвергали холодной пакетной прокатке на разные степени обжатия, чтобы исследовать возможность применения магнитных методов диагностики для оценки изменений, происходящих при пластической деформации в структуре, фазовом составе и физико-механических свойствах исследуемых двухслойных материалов. Для полноты исследования таким же способом обработки подвергали отдельные компоненты слоистых материалов.

Проведенные микроструктурные исследования, как и в других работах [6, 8, 9], посвященных исследованию границы соединения слоев при сварке взрывом, показывают, что увеличение степени холодной прокатки слоистых материалов приводит к уменьшению волнообразности границы, полученной при сварке взрывом. Было также установле-

но, что с увеличением степени холодной прокатки происходит измельчение зерна во всех деформируемых материалах. Металлографический и рентгенофазовый анализы, проводимые на всех исследуемых образцах, подтвердили чисто аустенитную структуру в обеих коррозионно-стойких сталях в исходном состоянии, а также после деформации холодной прокаткой в стали 04Х20Н6Г11М2АФБ, что говорит о стабильности структурного состояния этой стали при воздействии пластического деформирования.

Для оценки прочности соединения слоев проведены испытания на срез. По результатам испытаний было установлено, что сопротивление срезу обоих материалов составляет 560 МПа.

В стали 08Х18Н10 при холодной прокатке происходит образование мартенсита деформации, являющегося нежелательной ферромагнитной фазой, приводящей к снижению сопротивления межкристаллитной коррозии. Причем с увеличением степени деформации холодной прокаткой его количество как в отдельной компоненте, так и в составе биметалла увеличивается (рис. 1, а).

а б

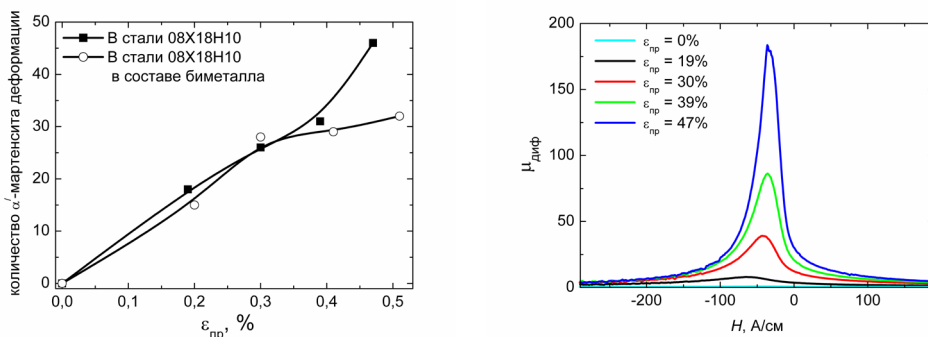


Рис. 1. Количество образовавшегося мартенсита деформации в стали 08Х18Н10 в зависимости от степени деформации холодной прокаткой (а) и полевые зависимости дифференциальной магнитной проницаемости стали 08Х18Н10 при различных степенях деформации прокаткой (б)

На рис. 1, б показана полевая зависимость дифференциальной магнитной проницаемости для метастабильной коррозионностойкой стали 08Х18Н10. Хорошо видно, что с увеличением степени деформации прокаткой высота пика возрастает, поле локализации пика, как известно, примерно совпадает со значениями коэрцитивной силы материала. Увеличение высоты пика обусловлено образованием новой ферромагнитной фазы — α' -мартенсита деформации.

Значения максимумов на полевых зависимостях дифференциальной магнитной проницаемости слоистых материалов могут служить параметрами для диагностики образования новой магнитно-упорядоченной фазы, образующейся в процессе пластической и упругопластической деформации (рис. 2).

Значения полей, при которых формируются максимумы на зависимостях дифференциальной магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля слоистых материалов и их отдельных компонентов, могут быть использованы для оценки степени деформации прокаткой и одноосным растяжением этих материалов.

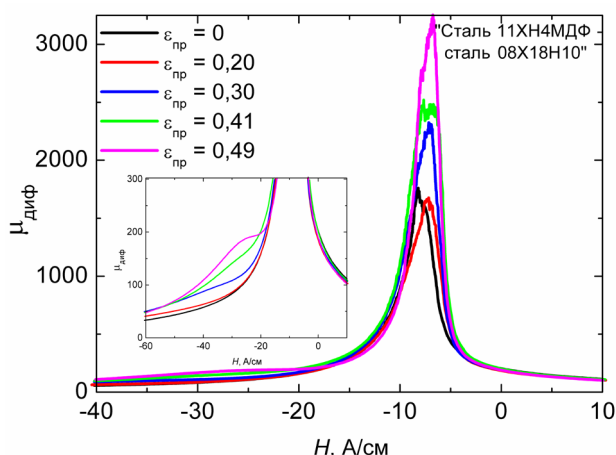


Рис. 2. Полевые зависимости дифференциальной магнитной проницаемости для биметалла «Сталь 11ХН4МДФ — сталь 08Х18Н10» при различных степенях деформации прокаткой

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 16-38-60027-мол_а_дк. При выполнении работы использовано оборудование ЦКП «Пластометрия».

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Oryshchenko A. S., Malyshevsky V. A., Khlusova E. I. Modern constructional steel for application in Arctic region // Sudostroenie. 2013. № 3. P. 46–49,.
- 2 Khlusova E. I., Orlov V. V. The structural and properties changes in heat affected zone of the weld joints of low-carbon shipbuilding and pipe steels // Metallurg. 2012. № 9. P. 63–76.
- 3 The Ph. of Met. and Metallography 6 (116) / S. Y. Mushnikova [et al.]. 2015. P. 626–635.
- 4 Chernyshev E. A., Romanov A. D., Romanova E. A. High-strength shipbuilding steels and alloys // Metallurg. 2016. № 2. P. 59–63.

- 5 Mendes R., Ribeiro J. B., Loureiro A. Effect of explosive characteristics on the explosive welding of stainless steel to carbon steel in cylindrical configuration // *Materials and Design*. 2013. № 51. P. 182–192.
- 6 Zamani E., Liaghat G. H. Explosive welding of stainless steel–carbon steel coaxial pipes // *Journal of materials science*. 2012. № 47. P. 685–695.
- 7 Kaya Y., Nizamettin K. An investigation into the explosive welding / cladding of Grade A ship steel / AISI 316L austenitic stainless steel // *Materials & Design*. 2013. № 52. P. 367–372.
- 8 Structure and properties of explosion-welded composite from steels 12kh18n10t and 20 / S. V. Gladkovskii [et al.] // *Metal Sc. and Heat Treatment*. 2009. № 9–10. P. 444–449.
- 9 Smirnov S. V., Veretennikova I. A., Vichuzhanin D. I. Modeling of delamination in multilayer metals produced by explosive welding under plastic deformation // *Continuum Mechanics*. 2014. № 4 (7). P. 398–411.